

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19760624  
 研究課題名（和文） 配電系統における太陽光発電の分オーダー出力を考慮した地域エネルギー  
 マネジメント手法  
 研究課題名（英文） A local energy management scheme in consideration with  
 minute-by-minute data of PV output in distribution networks  
 研究代表者  
 杉原 英治（SUGIHARA HIDEHARU）  
 大阪大学・工学研究科・准教授  
 研究者番号：10359854

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、太陽光発電を大量導入した配電ネットワークを想定し、配電電圧の制約逸脱を解消するため、需要家サイドに設置する電力貯蔵装置を活用する手法を開発した。すなわち、電力貯蔵装置を導入する需要家に対して初期コストの一部を補助し、その代わりにある決められた時間内において需要家の電力貯蔵装置の充放電パターンを制御できるようなマネジメント手法を提案した。数値計算例では、分オーダーの日射量データに基づき経済的な実現可能性を検証した結果、ネットワーク管理者の電圧制御機器のみで対応するよりも効果的であることを明らかにした。

## 研究成果の概要（英文）：

The widespread installation of distributed generation systems is crucial in making the maximum use of renewable energy. However, local distribution networks face voltage fluctuation problems if excess photovoltaic (PV) systems are connected to them. This study proposes a scheme that solves the problem of voltage fluctuations in a distribution network with high penetration of PV systems by using customer-side energy storage systems. Through the numerical simulation based on actually monitored minute-by-minute solar irradiation data, this study evaluates the economic advantage of the proposed scheme.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	600,000	3,700,000

研究分野：エネルギーシステム工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：太陽光発電，配電系統，電圧制御，電力貯蔵

## 1. 研究開始当初の背景

本研究課題の開始時点における研究動向として、国内では NEDO の委託による新電力ネットワークシステム研究会の報告書において、需要家の所有する分散電源のパターン制御や随時制御等が検討されているが、ICT 技術を活用した先進的なマネジメント手法の検討までは至っていない。また、配電線の電圧制御を目的として需要家との協力システムが提案されているが、系統側の緊急時に需要家が協力するか否かを随時判断する考え方であるため、協力が得られないケースを想定すると電力会社は設備投資を削減するのが困難であった。さらに、日本を含め世界各国において様々なマイクログリッドの概念が提案されているが、研究代表者の知る限り独立運転時におけるシステムの動特性や経済的な運用アルゴリズムに関する研究がほとんどであり、本申請課題が提案するような需要家の経済性も考慮した地域エネルギーマネジメント手法に関する検討にまでは至っていなかった。

これに対して、研究代表者は、需要家が導入する分散型電源の普及と、電力系統の安定運用を両立するための先進的なマネジメント手法として、「分散型電源の導入に対して補助金を与える代わりに、電力系統の緊急時には分散型電源も系統の安定運用へ積極的に貢献しなければならない」というコンセプトを提案し、配電ネットワークにおける電圧制御における基本的な特徴について検討してきた。ただし、太陽光発電の出力変動データは1時間平均値を用いていたため、急峻な出力変動は無視されてしまい、提案するマネジメント手法の有効性を適切に評価しているとは言い難かった。

## 2. 研究の目的

本研究の全体構想として、住宅や業務需要家を中心とした小地域（数 km×数 km）に太陽光や小型風力発電が集中的に導入された環境調和型コミュニティを想定し、配電ネットワークを含む地域エネルギーシステムの管理者（以下、エネルギーマネジャー）が、IT 技術を駆使して需要家側に設置された二次電池を積極的に活用することにより、配電ネットワークの安定運用と太陽光・風力発電の有効利用を同時に達成するような新しいエネルギーマネジメント手法の有効性を定量的に評価することを最終目的とする。この中で具体的なエネルギーマネジメントの考

え方として、二次電池を導入する住宅や業務需要家（必ずしも太陽光や風力発電の設置者に限らない）に対して補助金を与え、より大きな容量を設置できるようにする代わりに、配電ネットワークにおいて電圧上昇や線路過負荷などの問題が生じる場合には、エネルギーマネジャーが二次電池の運転パターンを変更し、配電ネットワークの安定運用のために需要家所有の二次電池を活用することを提案する。本研究では、特に太陽光発電における分オーダーの出力変動と二次電池による充放電制御に着目し、二次電池を導入する需要家に対して補助金を支払う代わりに、事前に決められた時間内（年間数十時間）であれば、エネルギーマネジャーが需要家の二次電池を制御できるようなマネジメント手法の経済性を評価し、系統側の電圧制御機器だけで対策した場合と比較することにより、その経済的優位性を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

研究方法は、提案手法を評価するためのモデル開発と、太陽光発電出力の推定に大別される。さらにモデル開発は、需要家における二次電池の最適導入計画モデルの開発と、配電ネットワークにおける潮流計算プログラムの開発に分けられる。以下、それぞれについて述べる。

### 3.1 提案マネジメント手法の評価モデル開発

需要家側への二次電池導入計画モデルでは、図1に示すようなエネルギーシステム構成を想定し、需要家のコスト最小化に基づき日負荷曲線を用いて二次電池の導入容量と充放電パターンを決定するモデルとなっており、二次電池の初期コストに対する補助金を考慮することにより、二次電池の導入容量（kW 容量、kWh 容量）が大きくなることを定量的に評価することができる。これにより、図2に示すように二次電池に付随するインバータ容量も大きくなり、配電系統の電圧制約逸脱時において制御可能な無効電力を増加させることができる。なお、様々な需要家種別（低負荷率：事務所・小売店舗・飲食店、高負荷率：ホテル・病院）毎に電力日負荷曲線を想定し、最適な二次電池の容量と充放電パターンを求める。

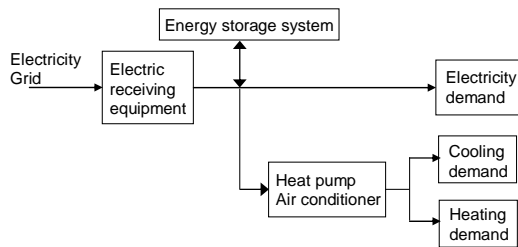


図1 需要家側のエネルギーシステム構成

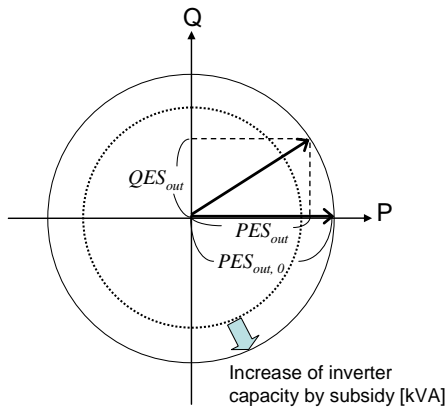


図2 補助によるインバータ容量の変化と緊急時の無効電力制御

次に、配電ネットワークの潮流計算プログラムでは、放射状の配電システムにおける電力負荷[kW]が変化することによる電圧変動をシミュレートすることができる。従って、需要家が電力貯蔵装置を導入し充放電を行うだけでなく、補助金により容量を変化させることによる配電電圧への影響を評価することができる。また、二次電池を導入する需要家の位置が変化した場合における、提案マネジメント手法の効果を評価する。

### 3.2 日射量データに基づく太陽光発電出力の推定

太陽光発電の出力は、全天日射量データより推定するものとし、分オーダーの日射データ収集システムとして、英弘精機(株)のネット气象台を利用した。全天日射量データから任意の傾斜角および方位角に設置された太陽光発電の出力を推定するには、全天日射量を直達成分と散乱成分に分離した上で、太陽高度と傾斜面への太陽光日射角を用いて傾斜面日射量を算出し、これに基づき太陽光発電の出力データを推定した。

### 3.3 フローチャート

提案マネジメントの評価モデルのフローチャートを図3に示す。まず、PV及び電力貯蔵装置を導入する前の段階として、変電所の送出電圧を決定する。次に、需要家サイドに

おける電力貯蔵装置の最適容量を決定し、さらにPVの大量導入を想定した上で電圧制約逸脱の生じる時間帯を特定する。特定された電圧制約逸脱に対してインバータ容量制約下における無効電力制御を行い、制約違反が解消されない場合にはSVCの必要容量を算出する。

以上のフローチャートに基づき数値シミュレーションを行い、提案手法の有効性を検証した。すなわち、分オーダーでの出力変動データは非常に不確定性の高いデータとなるが、それらの変動を全て電気事業者側の電圧調整機器(SVR、SVC)だけで対応する場合と、提案するエネルギーマネジメント手法を用いて需要家側の二次電池も併せて活用することにより、より経済的に太陽光発電の出力変動を吸収できる可能性を検証した。

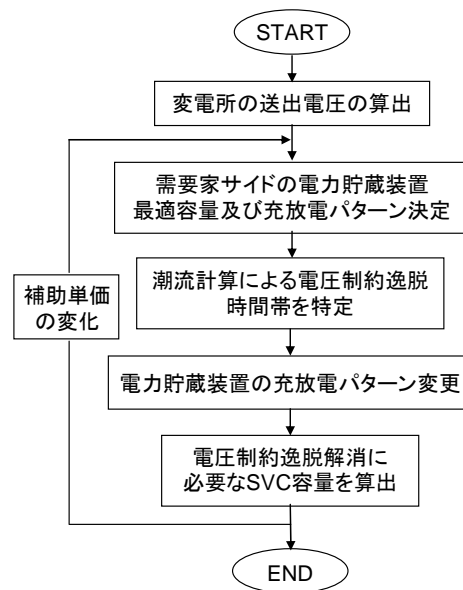


図3 評価モデルのフローチャート

## 4. 研究成果

### 4.1 無効電力制御による電圧制約逸脱回数の削減効果

提案する地域エネルギーマネジメント手法を用い、業務・商業需要家の電力貯蔵装置が無効電力制御を行った場合の年間電圧制約逸脱回数を図4に示す。但し、補助単価が0[¥/kVA]は電力貯蔵装置による協調運用がないケースに相当する。いずれの業種の需要家に電力貯蔵装置が導入されても、補助単価の増加に対し、電圧制約逸脱回数は減少するが、対数的に飽和する。これは、インバータ容量が飽和するので、出力できる無効電力も飽和するためである。特に、小売店は導入されたインバータ容量が大きいので、小売店に設置した電力貯蔵装置による協調運用の効果が著しく大きい結果となった。

#### 4.2 ネットワーク運用者のコスト

電圧制約逸脱の解消に要するネットワーク運用者の年間コストを、インバータ補助額と電圧制御機器(SVC)の償却費の和と定義とする。図5、図6にそれぞれ負荷率の大きいホテル、負荷率の小さな事務所に提案手法を適用した場合のネットワーク運用者のコストを示す。いずれの場合も、ネットワーク運用者のコストはインバータ補助単価5,000[¥/kVA]の場合に最も少なくなっており、以降、補助単価が増えるにつれて増加した。また、補助単価5,000[¥/kVA]のときにネットワーク運用者のコストが最小となることから、少ない補助額での需要家の電力貯蔵装置の協調運用でもその効果はかなり大きいことが分かる。また、負荷率の小さい需要家の電力貯蔵装置を用いた方が、大きな容量のインバータを持つため、電圧制御効果、コストの削減効果ともに大きいことを示した。

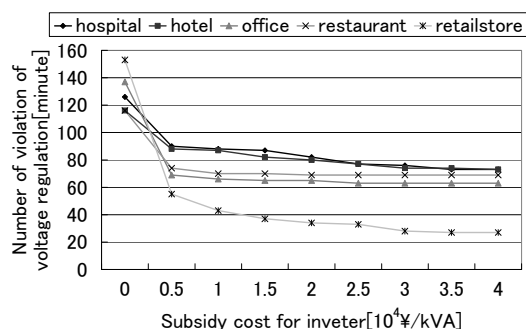


図4 年間電圧制約逸脱時間

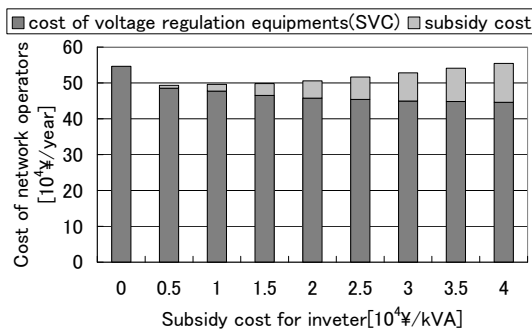


図5 ネットワーク運用者のコスト (ホテル需要家)

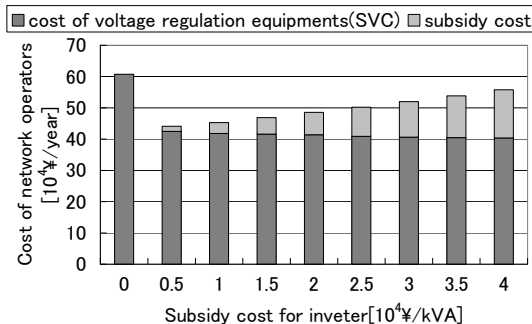


図6 ネットワーク運用者のコスト (オフィス需要家)

以上のことから、提案する地域エネルギーマネジメント手法に基づき需要家の所有する電力貯蔵装置を積極的に活用することにより、効率的に配電ネットワークの電圧管理を行える可能性を示した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計4件)

[1] 長尾陽介, 杉原英治, 舟木 剛, 舟橋俊久・奥野義道・林 孝則:「電圧制約下における配電システムでの太陽光発電システムの導入可能性に関する分析」, 平成21年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集(論文II), No. 154 (2009. 8. 18), 芝浦工業大学

[2] 横山耕平, Kaewniyompanit Songpakit, 杉原英治, 佐伯 修, 辻 毅一郎, 舟木剛:「需要家の電力貯蔵装置を用いた配電ネットワークの電圧管理に関する研究 -ネットワーク運用者から見た経済性評価-」, 平成20年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 197 (2008. 9. 24), 広島大学工学部

[3] 横山耕平, Kaewniyompanit Songpakit, 杉原英治, 佐伯 修, 辻 毅一郎, 舟木剛:「需要家の電力貯蔵装置を用いた配電ネットワークの電圧管理に関する研究 -需要家及びネットワーク運用者双方から見た経済性評価-」, 平成20年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-08-34, PSE-08-43 (2008. 8. 6), 熊本大学工学部

[4] 横山耕平, Kaewniyompanit Songpakit, 杉原英治, 佐伯 修, 辻 毅一郎, 舟木剛:「需要家の電力貯蔵装置を用いた配電ネットワークの電圧管理に関する研究 -基本モデルと予備的シミュレーション-」, 平成20年電気学会全国大会講演論文集 No. 6-142 (2008. 3. 21), 福岡工業大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

杉原 英治 (SUGIHARA HIDEHARU)  
大阪大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 10359854

- (2) 研究分担者 なし
- (3) 連携研究者 なし